



PEMODELAN PERPINDAHAN MASSA PADA EKSTRAKSI LIPID KONTINU MIKROALGA *CHLORELLA VULGARIS* DENGAN PELARUT CXM (CO_2 -EXPANDED METHANOL)

CONTINUOUS LIPID EXTRACTION MASS TRANSFER MODELING OF MICROALGAE CHLORELLA VULGARIS BY CXM (CO_2 -EXPANDED METHANOL)

Sriati Monalisa Siahaan
1212 100 082

Dosen Pembimbing:
Dr. Dra. Mardlijah, M.T
Tahiyatul Asfihani, S.Si, M.Si

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016







I

II

III

IV

V

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

RUMUSAN MASALAH

BATASAN MASALAH

TUJUAN

MANFAAT



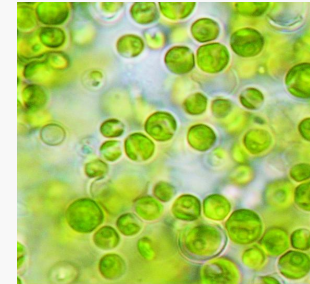
Energi Alternatif



Biodiesel



**Ekonomi & Penduduk
meningkat, penggunaan energi
meningkat.**



Mikroalga



Lipid

1. Model Matematika
2. Perbandingan hasil ekstraksi berdasarkan eksperimen dan ?
3. Simulasi Model Matematika



1. *Chlorella vulgaris*.
2. Pelarut yang digunakan adalah CXM (CO_2 -*expanded methanol*).
3. Data yang digunakan adalah berdasarkan pada hasil eksperimen Yi-Hung Yang dkk pada jurnal *Bioresource Technology* 198 (2015).

1. Model Matematika proses perpindahan massa lipid dari mikroalga *Chlorella vulgaris*
2. Persamaan akumulasi yield lipid
3. Hasil simulasi model Matematika proses ekstraksi *Chlorella vulgaris*

Mendapatkan hasil dan informasi yang lebih komprehensif mengenai proses ekstraksi lipid mikroalga, khususnya pada proses perpindahan massa lipid.

Sebagai model matematis untuk memprediksi besarnya yield lipid yang dapat diekstrak dari *Chlorella vulgaris*.

Sebagai bahan dasar untuk perbandingan efisiensi hasil ekstraksi dan analisis biaya terhadap hasil eksperimen pada jenis mikroalga yang lain dan metode ekstraksi yang lain.



I

II

III

IV

V

SISTEMATIKA PENULISAN

SISTEMATIKA
PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III METODE PENELITIAN

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB V PENUTUP



I

II

III

IV

V

SISTEMATIKA PENULISAN

SISTEMATIKA
PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III METODE PENELITIAN

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB V PENUTUP

Latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan



I

II

III

IV

V

SISTEMATIKA PENULISAN

SISTEMATIKA
PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III METODE PENELITIAN

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB V PENUTUP

Penelitian terdahulu,
bentuk persamaan umum
dan teori-teori yang
berkaitan dengan
pembuatan model dan
perpindahan massa



SISTEMATIKA PENULISAN

SISTEMATIKA PENULISAN

Tahapan-tahapan dan
metode yang digunakan
dalam pengerjaan Tugas
Akhir

BAB I PENDAHULUAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III METODE PENELITIAN

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB V PENUTUP



I

II

III

IV

V

SISTEMATIKA PENULISAN

SISTEMATIKA
PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III METODE PENELITIAN

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB V PENUTUP

Analisis kestabilan sistem
dan analisis hasil simulasi
model matematika proses
ekstraksi



I

II

III

IV

V

SISTEMATIKA PENULISAN

SISTEMATIKA
PENULISAN

Kesimpulan dan Saran

BAB I PENDAHULUAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III METODE PENELITIAN

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB V PENUTUP



I

II

III

IV

V

TINJAUAN PUSTAKA

PENELITIAN TERDAHULU

MATERIAL DAN METODE

**PERPINDAHAN MASSA DAN
PERSAMAAN DIFUSI**

PD. LINIER

KRITERIA ROUTH-HURWITZ

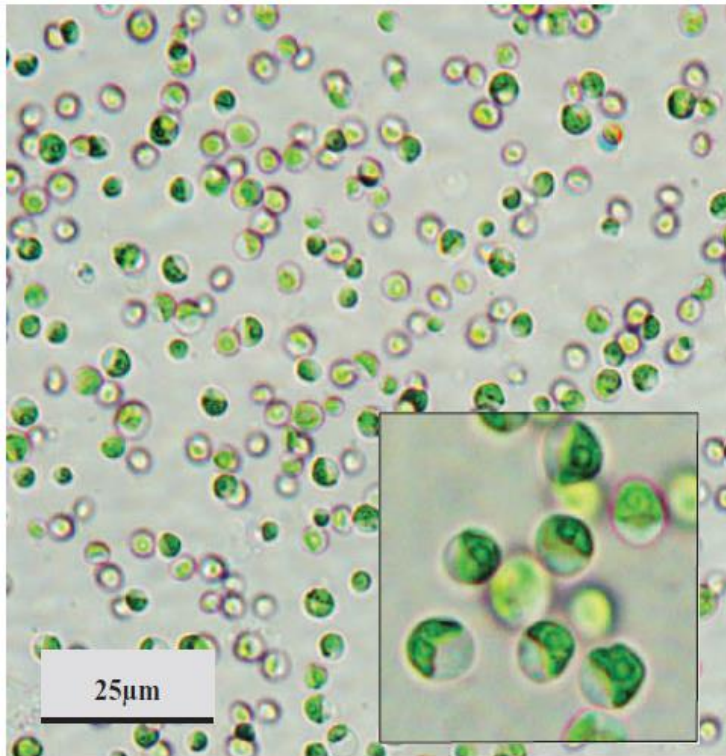
***ABSOLUTE AVERAGE RELATIVE
DEVIATION (AARD)***

Yi-Hung Yang (2015): Proses optimasi ekstraksi lipid kontinu dari *Chlorella vulgaris* dengan menggunakan pelarut CXM untuk proses produksi biodiesel.

$$\text{Yield Minyak Alga} = \frac{\text{Massa Minyak Alga}}{\text{Kadar Minyak Teoretis}} \times 100\% \quad (2.1)$$

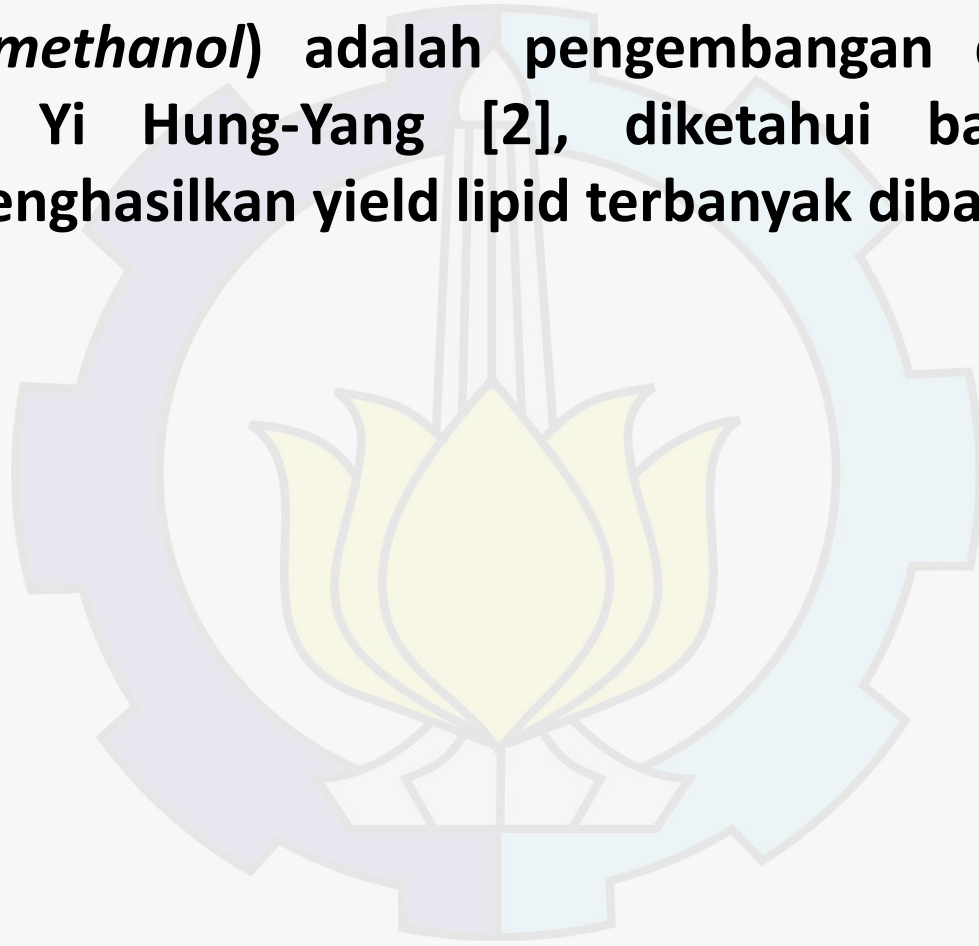
MATERIAL DAN METODE

(*Chlorella vulgaris*)

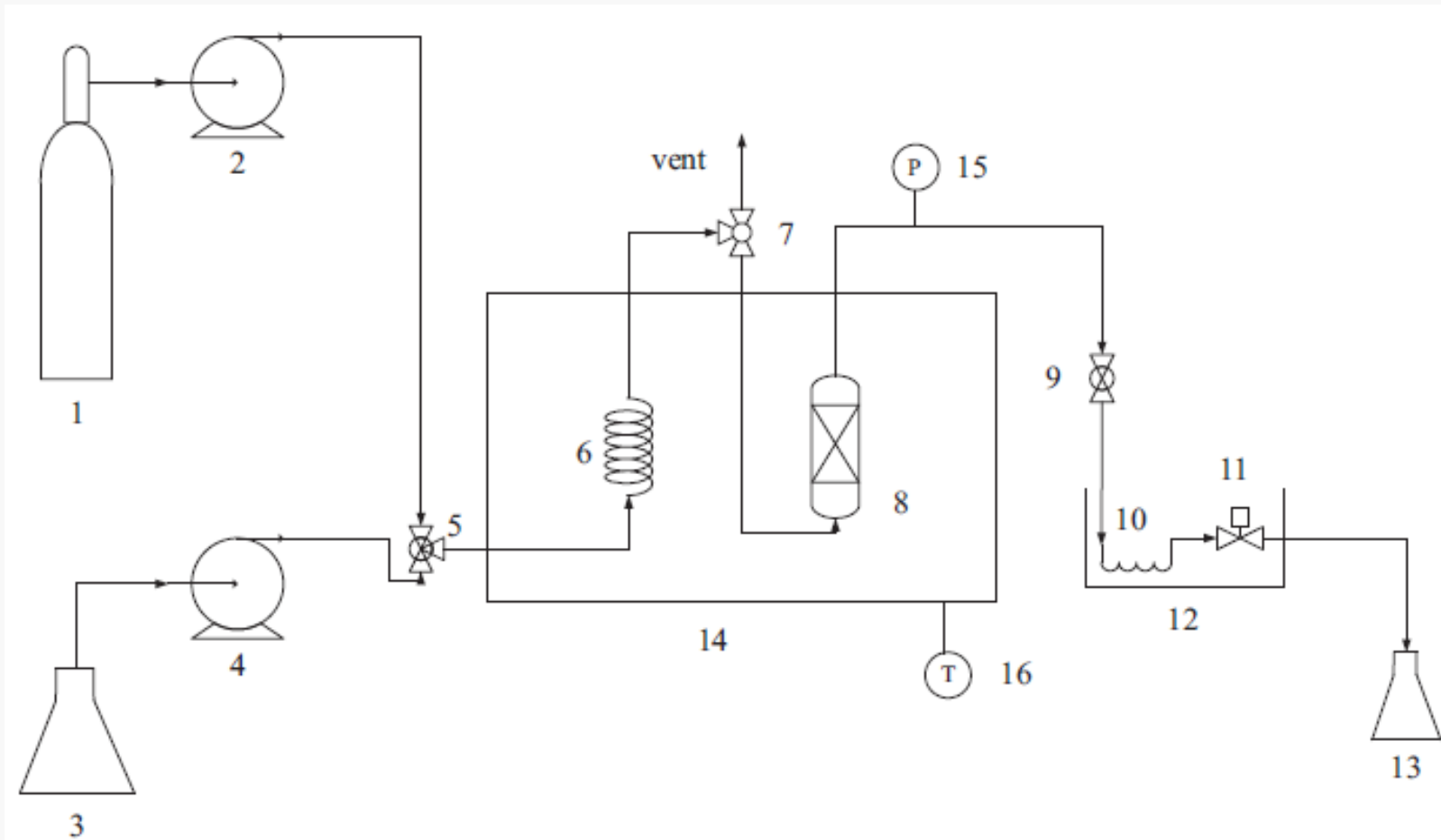


Chlorella vulgaris adalah mikroalga yang termasuk ke dalam golongan alga hijau (*chlorophyta*). Bentuk sel *Chlorella vulgaris* bulat, bulat lonjong dengan garis tengah sel antara 2-10 μm [2].

CXM (*CO₂-extended methanol*) adalah pengembangan dari CXL (*CO₂-Extended Liquid*). Berdasarkan Yi Hung-Yang [2], diketahui bahwa ekstraksi dengan menggunakan CXM menghasilkan yield lipid terbanyak dibandingkan dengan produk CXL yang lain.



MATERIAL DAN METODE (Ekstraktor Sokhlet)



PERPINDAHAN MASSA DAN PERSAMAAN DIFUSI (Hukum Fick)

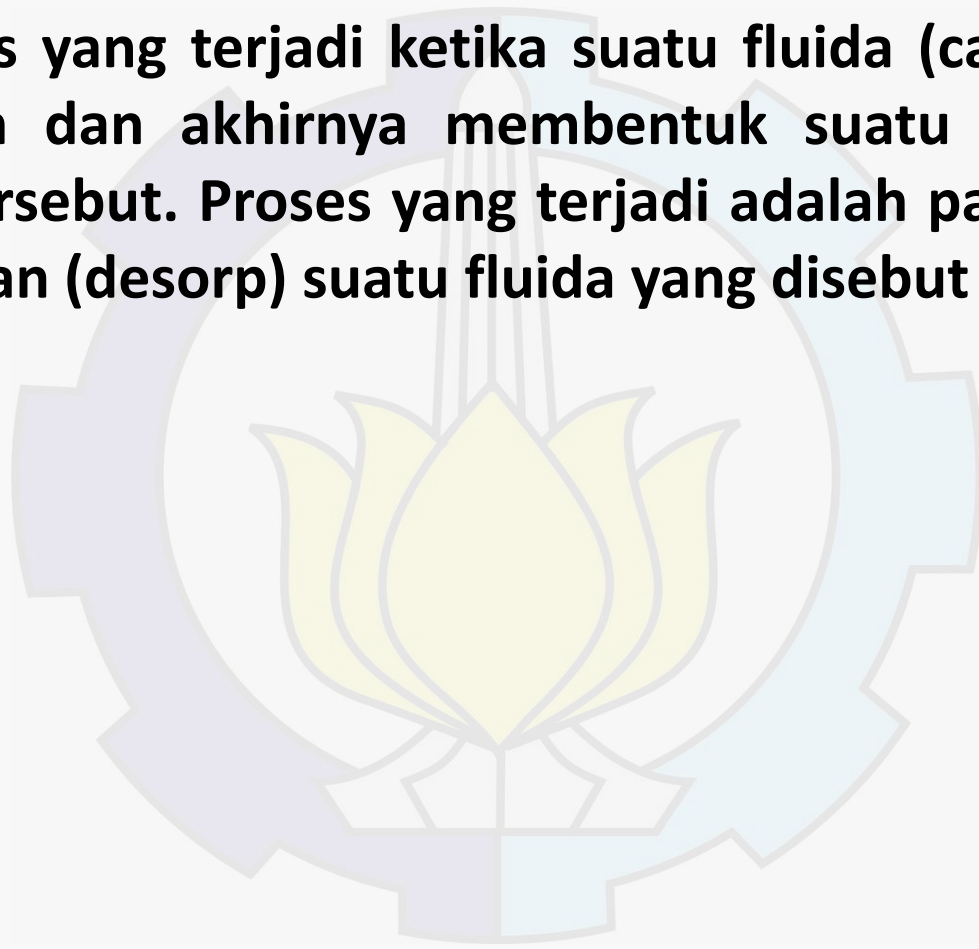
Proses transfer/perpindahan massa atau yang disebut juga dengan difusi terjadi pada campuran (*mixture*), sehingga perlu untuk dilakukan pemeriksaan pengaruh tiap-tiap komponen (konsentrasi spesies, kecepatan aliran pelarut, fluks massa), yang mana proses difusi akan mengikuti pernyataan hukum pertama dari Hukum Fick tentang difusi untuk campuran biner, yaitu [9]:

$$J_A = -D_{AB} \frac{dc_A}{db} \quad (1)$$



PERPINDAHAN MASSA DAN PERSAMAAN DIFUSI (Adsorpsi)

Adsorpsi : suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Proses yang terjadi adalah padatan berpori menghisap (adsorp) dan melepaskan (desorp) suatu fluida yang disebut desorben.



PERPINDAHAN MASSA DAN PERSAMAAN DIFUSI (Adsorpsi)

Persamaan umum keseimbangan massa solute pada aliran fluida (dalam penelitian ini yaitu pelarut) selama durasi diferensial waktu adalah sebagai berikut [3]:

$$vV \frac{\partial C}{\partial z} + \varepsilon V \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \varepsilon_p)V \frac{\partial q}{\partial t} = 0 \quad (2.4)$$

Proses perpindahan massa solut pada partikel padatan didekati dengan menggunakan koefisien perpindahan massa volumetrik dan faktor pendorong sebagai berikut:

$$V(1 - \varepsilon_p) \frac{dq}{dt} = - \frac{k_f a (q - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} \quad (2.5)$$

Persamaan Langmuir atau Langmuir Isotermal dibentuk berdasarkan asumsi bahwa [3]:

Adsorben memiliki permukaan yang homogen, energi adsorpsi konstan di semua sisi.

Semua proses adsorpsi sama rata disetiap permukaan adsorben.

$$\frac{dq}{dt} = k_a p(1 - f) - k_d f \quad (2.7)$$



I

II

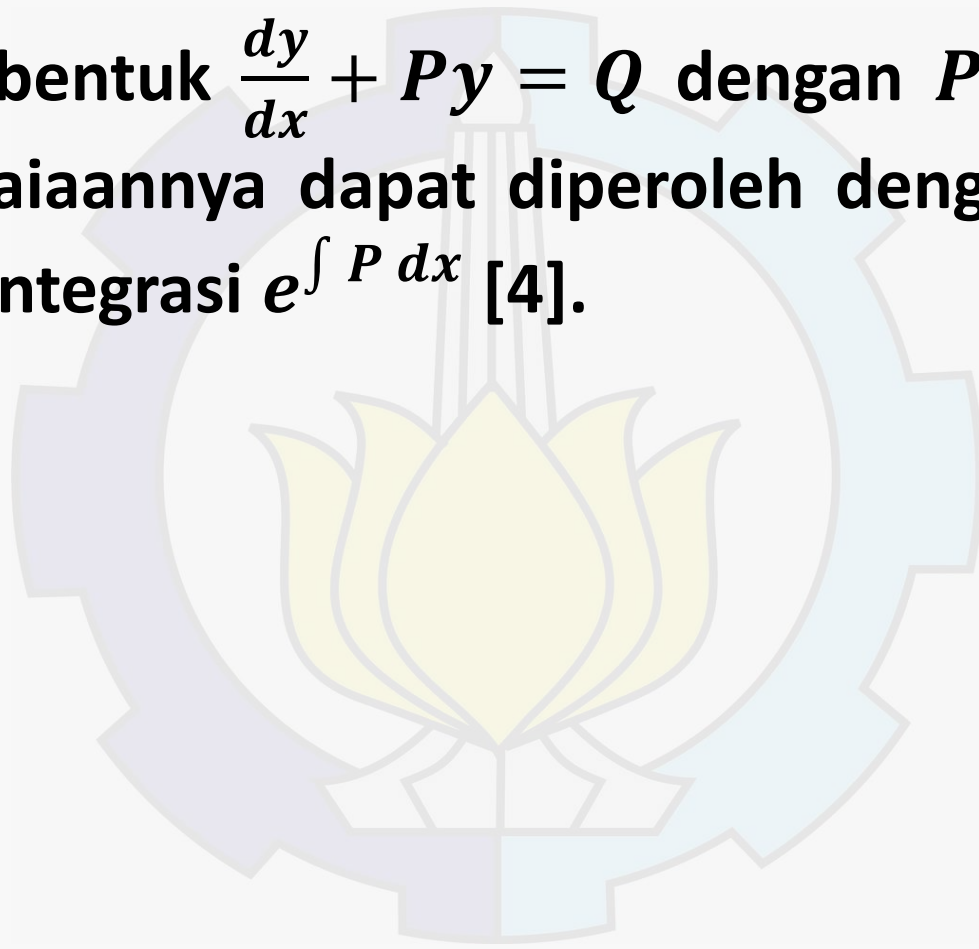
III

IV

V

PD. LINIER DENGAN BENTUK $\frac{dy}{dx} + Py = Q$

Untuk PD yang berbentuk $\frac{dy}{dx} + Py = Q$ dengan P dan Q fungsi x atau konstanta penyelesaiannya dapat diperoleh dengan mengalikan kedua ruas dengan faktor integrasi $e^{\int P dx}$ [4].



Akar-akar persamaan karakteristik tersebut mempunyai bagian riil negatif jika:

$$D_1 = a_1 > 0$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ 1 & a_2 \end{vmatrix} > 0$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ 1 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0 \quad dst$$

dengan $k = 1, 2, 3, \dots, n$.

Jika $n = 4$, maka persamaan akan menjadi:

$$\lambda^4 + a_1\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_3\lambda + a_4 = 0$$

Dengan menggunakan tabel Routh-Hurwitz, koefisien-koefisien pada polinomial, $a_0\lambda^4 + a_1\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_3\lambda + a_4 = 0$ dapat disusun menjadi:

$$\begin{array}{c|ccc}
 \lambda^n & a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \cdots \\
 \lambda^{n-1} & a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \cdots \\
 \lambda^{n-2} & b_1 & b_2 & b_3 & \\
 \lambda^{n-3} & c_1 & c_2 & c_3 & \\
 \vdots & \vdots & & & \\
 \lambda^0 & p & & &
 \end{array}$$

dengan:

$$b_1 = \frac{a_{n-1}a_{n-2} - a_n a_{n-3}}{a_{n-1}}, b_2 = \frac{a_{n-1}a_{n-4} - a_n a_{n-5}}{a_{n-1}}$$

$$b_3 = \frac{a_{n-1}a_{n-6} - a_n a_{n-7}}{a_{n-1}}, \dots$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_{n-3} - b_2 a_{n-1}}{b_1}, c_2 = \frac{b_1 a_{n-5} - b_3 a_{n-1}}{b_1},$$

$$c_3 = \frac{b_1 a_{n-7} - b_4 a_{n-1}}{b_1}, \dots$$

Polinomial $a_0\lambda^4 + a_1\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_3\lambda + a_4 = 0$ stabil jika semua kolom pertama bernilai positif.

Perhitungan keakuratan model dilakukan dengan formula sebagai berikut [6]:

$$ARD = ABS \left| \frac{Calculated - Experiment}{Calculated} \right| \times 100\% \quad (2.8)$$

$$AARD = \frac{\sum_i^N ARD}{N}, \text{ dengan } N \text{ merupakan jumlah eksperimen.}$$



I

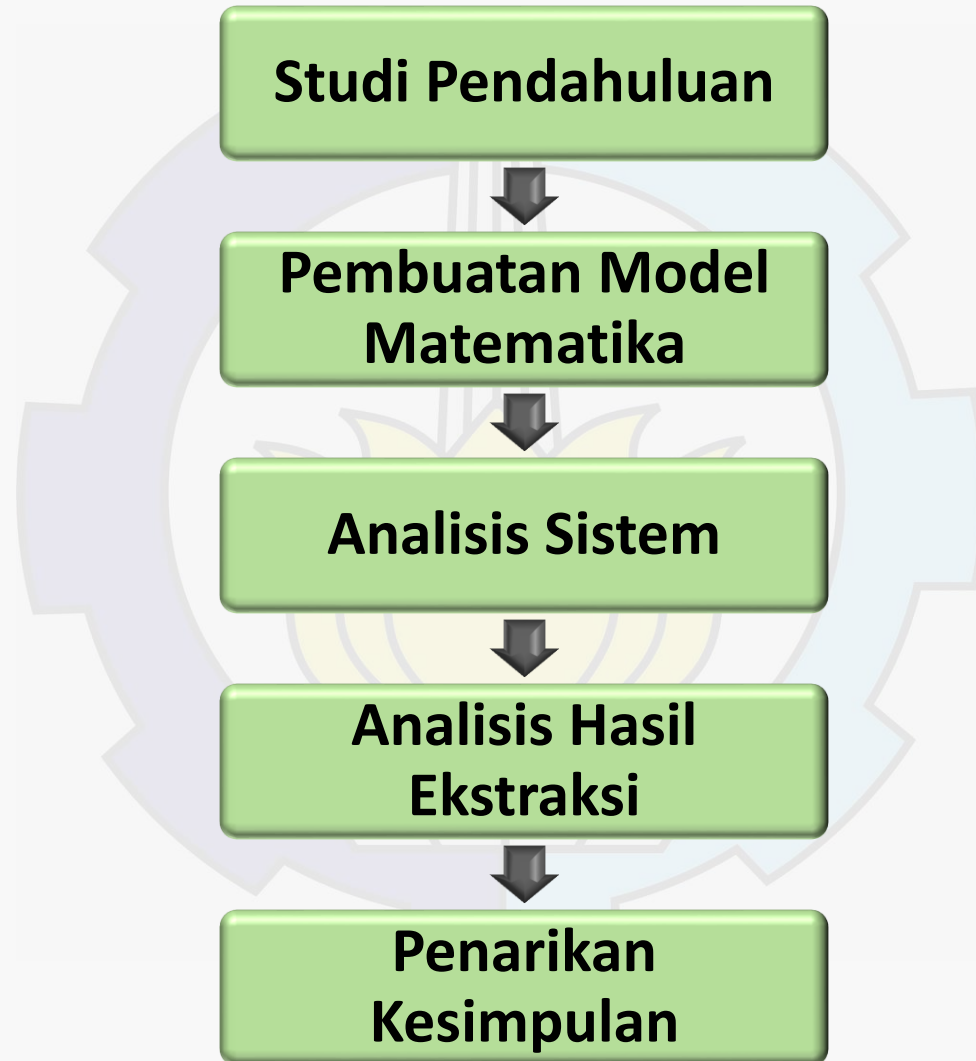
II

III

IV

V

METODE PENELITIAN





I

II

III

IV

V

**ANALISIS DAN
PEMBAHASAN**

LANGKAH PEMBENTUKAN MODEL

ANALISIS KESTABILAN SISTEM

**PERSAMAAN MATEMATIKA YIELD
LIPID**

PERBANDINGAN HASIL YIELD

ANALISIS HASIL EKSTRAKSI



I

II

III

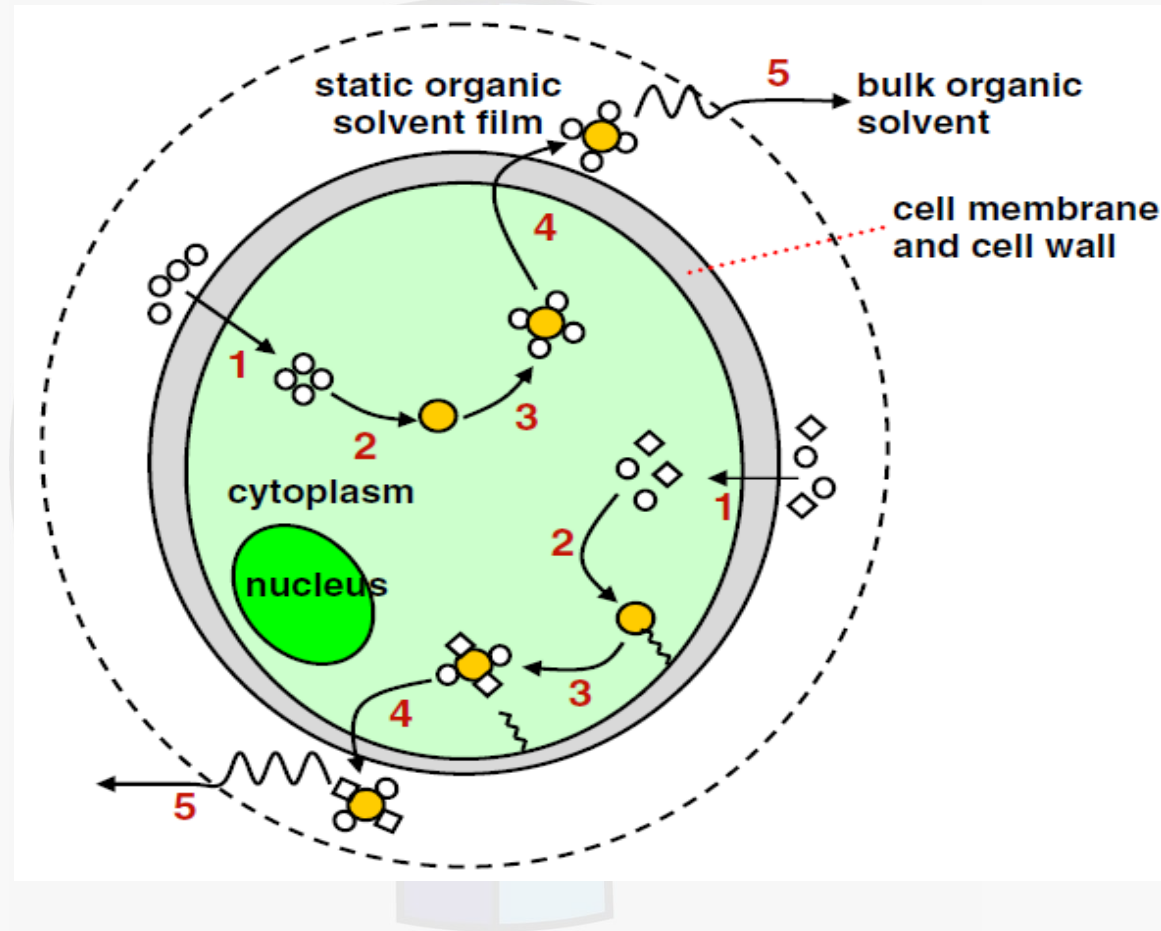
IV

V

LANGKAH-LANGKAH PEMBENTUKAN MODEL MATEMATIKA EKSTRAKSI LIPID

- a. Pelarut menembus dinding sel dan masuk ke dalam sitoplasma.
- b. Pelarut saling berinteraksi dengan lipid yang berada dalam dinding sel.
- c. Selanjutnya, pelarut dan lipid membentuk sebuah ikatan kompleks pelarut-lipid.
- d. Ikatan kompleks pelarut-lipid ini berdifusi keluar dari dinding sel karena adanya perbedaan gradien konsentrasi antara pelarut dengan partikel mikroalga.
- e. Kompleks keluar melalui film yang mengelilingi sel dan terbawa oleh aliran pelarut.

LANGKAH-LANGKAH PEMBENTUKAN MODEL MATEMATIKA EKSTRAKSI LIPID



Gambar 4.1 Mekanisme Ekstraksi dengan Pelarut [7]

Secara umum dalam penyelesaian masalah, persamaan diferensial yang lengkap menggambarkan peristiwa konveksi aksial, dispersi aksial, dispersi radial, perpindahan massa dari permukaan padatan ke aliran pelarut dan akumulasi. Pendekatan model secara umum tersebut dalam bentuk persamaan adalah sebagai berikut:

$$\varepsilon V \frac{\partial C}{\partial t} + vV \frac{\partial C}{\partial z} = VD_L \frac{\partial^2 C}{\partial^2 z} + V \frac{D_R}{r} \frac{\partial \left(r \frac{\partial C}{\partial r} \right)}{\partial r} - (1 - \varepsilon) V k_f (C - C_{sat}^*) \quad (4.1)$$

Keseimbangan massa dalam aliran fluida dengan mengabaikan dispersi aksial dan dispersi radial adalah sebagai berikut:

$$vV \frac{\partial C_s}{\partial z} + \varepsilon V \frac{\partial C_s}{\partial t} + (1 - \varepsilon_p)V \frac{\partial C_p}{\partial t} = 0 \quad (4.2)$$

Selanjutnya bentuk persamaan perpindahan massa pada aliran besar pelarut berubah menjadi:

$$\begin{aligned}\frac{S}{\rho}C_s + \varepsilon V \frac{dC_s}{dt} + (1 - \varepsilon_p)V \frac{dC_p}{dt} &= 0 \\ \varepsilon V \frac{dC_s}{dt} &= \left(-\frac{S}{\rho}C_s\right) - (1 - \varepsilon_p)V \frac{dC_p}{dt} \\ \frac{dC_s}{dt} &= -\frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} \frac{dC_p}{dt} - \frac{S}{\rho \varepsilon V} C_s\end{aligned}\quad (4.3)$$

Persamaan untuk subsistem 2 digambarkan sebagai perpindahan massa melalui bagian luar lapisan film, adalah sebagai berikut:

$$\frac{dC_p}{dt} = - \frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} \quad (4.4)$$

Berdasarkan persamaan umum perpindahan massa zat terlarut pada bagian (2.6), maka dengan mempertimbangkan terjadinya proses perpindahan massa lipid dengan cara absorpsi maka persamaan diatas dapat dibawa ke dalam bentuk:

$$\frac{dC_p}{dt} = - \frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} - \frac{dC_l}{dt} \quad (4.5)$$

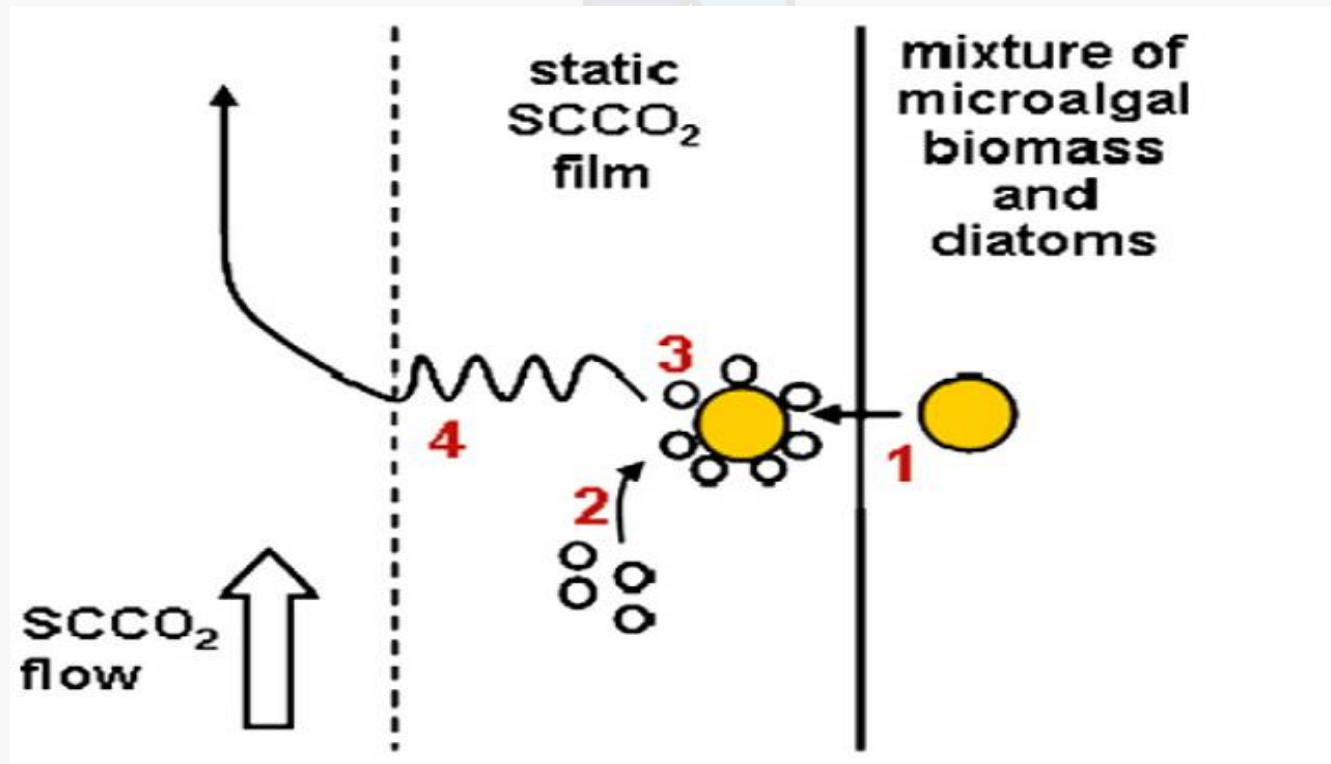
Adsorpsi terjadi ketika pelarut terikat pada lipid di dalam mikroalga dan selanjutnya terjadi proses penyerapan berbalik arah untuk keluar dari fase padat (solid) partikel mikroalga. Dengan asumsi bahwa lipid memiliki permukaan yang homogen, proses ekstraksi terjadi pada keadaan isothermal dan laju adsorpsi berbeda dengan laju desorpsi, maka persamaan dapat dibentuk dengan mengikuti persamaan untuk proses adsorpsi [3] yaitu:

Tingkat masuk (adsorpsi): k_a

Tingkat keluar (desorpsi): k_d

Tingkat perubahan konsentrasi CXM yang diserap oleh lipid:

$$\frac{dC_l}{dt} = k_a C_p - k_d C_l \quad (4.6)$$



Gambar 4.2 Mekanisme Adsorpsi-Desorpsi [7]

Berdasarkan pada mekanisme ekstraksi pada setiap subsistem yang membentuk proses transfer massa lipid diatas yaitu pada persamaan (4.3), (4.5) dan (4.6) maka diperoleh model dinamik proses ekstraksi lipid mikroalga *Chlorella vulgaris* sebagai berikut:

$$\frac{dC_s}{dt} = -\frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} \frac{dC_p}{dt} - \frac{S}{\rho \varepsilon V} C_s \quad (4.3)$$

$$\frac{dC_p}{dt} = -\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} - \frac{dC_l}{dt} \quad (4.5)$$

$$\frac{dC_l}{dt} = k_a C_p - k_d C_l \quad (4.6).$$

Difusivitas pelarut terhadap partikel dihitung berdasarkan persamaan Stokes-Einstein, dengan κ merupakan konstanta Boltzman bernilai $1.3806504 \times 10^{-23} J/K$ yaitu:

$$D_{AB} = \frac{\kappa T}{6\pi r_p \mu_A}$$

Berdasarkan persamaan (4.3), (4.5), dan (4.6) maka dapat dibentuk matriks ruang keadaan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{C}_s \\ \dot{C}_p \\ \dot{C}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{S}{\rho \varepsilon V} & \frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} \left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) & -\frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} k_d \\ 0 & -\left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) & k_d \\ 0 & k_a & -k_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_s \\ C_p \\ C_l \end{bmatrix}$$

Selanjutnya akan dicari akar-akar karakteristik dari matriks A diatas.
Berdasarkan persamaan:

$$|\lambda I - A|x = 0$$

maka

$$\begin{bmatrix} \lambda + \frac{S}{\rho \varepsilon V} & \frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} \left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) & - \frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} k_d \\ 0 & \lambda + \left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) & k_d \\ 0 & k_a & \lambda + k_d \end{bmatrix} = 0$$

Dari bentuk perkalian matriks A diperoleh persamaan akar-akar karakteristik sebagai berikut:

$$|\lambda I - A| = \left(\lambda + \frac{S}{\rho \varepsilon V} \right) \left(\lambda + \left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) \right) (\lambda + k_d) - k_a k_d \left(\lambda + \frac{S}{\rho \varepsilon V} \right) = 0$$

Berdasarkan kriteria Routh-Hurwitz, persamaan karakteristik diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$a_0 \lambda^3 + a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda^1 + a_3 = 0$$

Dengan masing-masing nilai untuk a_1, a_2 , dan a_3 adalah:

$$a_0 = 1$$

$$a_1 = \left(\frac{S}{\rho \varepsilon V} \right) + \left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) + k_d$$

$$a_2 = \left(\frac{S}{\rho \varepsilon V} \right) \left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) + \left(\frac{S}{\rho \varepsilon V} \right) k_d + \left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) k_d - k_a k_d$$

$$a_3 = \left(\frac{S}{\rho \varepsilon V} \right) \left(\frac{k_f a}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a \right) k_d - k_a k_d \left(\frac{S}{\rho \varepsilon V} \right)$$

Nilai a_1, a_2, a_3 dan dianalisa sebagai berikut:

Karena nilai parameter $S, \rho, \varepsilon, V, k_f, a, k_a$, dan k_d semua bernilai positif, jelas bahwa $a_1, a_2, a_3, a_4 > 0$.

Nilai b_1 dianalisa sebagai berikut:

$$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}$$

Karena $a_1 > 0$, maka nilai b_1 akan bernilai $\frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1} > 0$ jika $a_1 a_2 > a_0 a_3$.

Dengan nilai:

$$a_0 = 1; a_1 = 2.48 \times 10^{-2}; a_2 = 1.68 \times 10^{-7}; a_3 = 1.93 \times 10^{-13}$$

Dimana nilai dari:

$$a_1 a_2 = (2.48 \times 10^{-2}) \times (1.68 \times 10^{-7}) = 4.17 \times 10^{-9}$$

dan

$$a_0 a_3 = 1.93 \times 10^{-13}$$

$$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1} = \frac{4.17 \times 10^{-9} - 1.93 \times 10^{-13}}{2.48 \times 10^{-2}} = 1.6810^{-7}$$

maka dapat disimpulkan benar bahwa $a_1 a_2 > a_0 a_3$.

Nilai c_1 dianalisa sebagai berikut:

$$c_1 = \frac{b_1 a_3 - b_2 a_1}{b_1}$$

dimana

$$b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_5 a_0}{a_1}$$

dengan $a_4 = 0$ dan $a_5 = 0$. Sehingga nilai $b_2 = 0$.

Maka nilai c_1 akan bernilai $\frac{b_1 a_3 - b_2 a_1}{b_1} > 0$ jika $b_1 a_3 > b_2 a_1$. Karena nilai $b_2 = 0$, maka jelas bahwa $b_1 a_3 > b_2 a_1$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa $c_1 > 0$.

Karena nilai $a_1 > 0$, $b_1 > 0$ dan $c_1 > 0$ maka sistem ini stabil.



I

II

III

IV

V

PERSAMAAN MATEMATIKA YIELD LIPID

Dengan substitusi persamaan (4.5) dan persamaan (4.6) ke dalam persamaan (4.3), diperoleh persamaan konsentrasi lipid pada aliran pelarut sebagai berikut:

$$\frac{dC_s}{dt} = -\frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} \left(-\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} - k_a C_p + k_d C_l \right) - \frac{S}{\rho \varepsilon V} C_s$$

$$\frac{dC_s}{dt} = \frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} \left(\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a C_p - k_d C_l \right) - \frac{S}{\rho \varepsilon V} C_s$$

$$\frac{dC_s}{dt} + \frac{S}{\rho \varepsilon V} C_s = \frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} \left(\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a C_p - k_d C_l \right)$$

Misalkan digunakan faktor pengintegralan sebagai berikut:

$$f(t) = e^{\int \frac{S}{\rho \epsilon V} dt} = e^{\frac{S}{\rho \epsilon V} t}$$

maka jika kedua ruas dikalikan dengan faktor pengintegralan persamaan akan menjadi:

$$e^{\frac{S}{\rho \epsilon V} t} \frac{dC_s}{dt} + e^{\frac{S}{\rho \epsilon V} t} \frac{S}{\rho \epsilon V} C_s = e^{\frac{S}{\rho \epsilon V} t} \frac{(1 - \epsilon_p)}{\epsilon} \left(\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \epsilon_p)} + k_a C_p - k_d C_l \right)$$

$$C_s = \frac{\rho \epsilon V (1 - \epsilon_p)}{S} \left(\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \epsilon_p)} + k_a C_p - k_d C_l \right) + \frac{c}{e^{\frac{S}{\rho \epsilon V} t}}$$



I

II

III

IV

V

PERSAMAAN MATEMATIKA YIELD LIPID

Misalkan $C_s(0) = C_{s0}$

maka

$$C_{s0} = \frac{\rho \varepsilon V (1 - \varepsilon_p)}{S} \left(\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a C_p - k_d C_l \right) + \frac{c}{e^0}$$

$$c = C_{s0} - \frac{\rho \varepsilon V (1 - \varepsilon_p)}{S} \left(\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a C_p - k_d C_l \right)$$

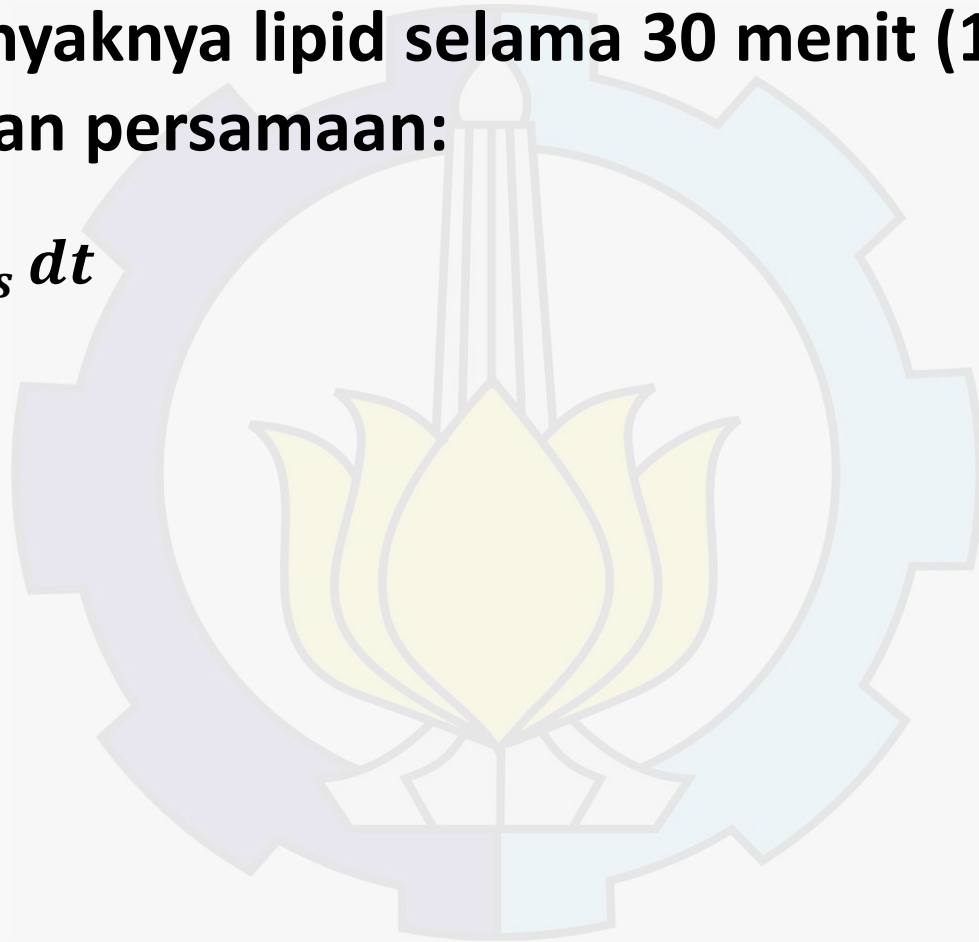
$$C_s = \frac{\rho \varepsilon V (1 - \varepsilon_p)}{S} \left(\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} + k_a C_p - k_d C_l \right) \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{S}{\rho \varepsilon V} t}} \right) + \frac{C_{s0}}{e^{\frac{S}{\rho \varepsilon V} t}} \quad (4.7)$$



PERSAMAAN MATEMATIKA YIELD LIPID

Untuk menghitung banyaknya lipid selama 30 menit (1800 detik) proses ekstraksi adalah dengan persamaan:

$$Y = \int_0^{1800} C_s dt \quad (4.8)$$



Berdasarkan persamaan *Absolut Average Relative Deviation (AARD)* maka perbandingan perolehan yield lipid antara hasil ekstraksi dengan perhitungan berdasarkan model Matematika adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Ekstraksi pada Mikroalga

Tekanan (MPa)	Suhu (K)	Ekstrak (% Yield)		ARD (%)
		Eksperimen	Perhitungan	
6	348	16.10	16.2	0.668875
8	363	16.58	15.50	7.220533
6	373	13.04	14.44	9.497456
4	333	13.68	13.2	3.4936
6	348	16.04	16.2	1.039053
6	348	15.02	16.2	7.332081

6	348	13.33	11.9	11.93434
4	333	10.43	10.9	4.142059
6	323	13.64	13.9	1.802847
6	348	16.10	16.2	0.668875
4	363	17.51	15.6	12.59785
6	348	16.29	16.2	0.503356
6	348	16.58	16.2	2.29255
6	348	16.24	16.2	0.194874



PERBANDINGAN HASIL YIELD

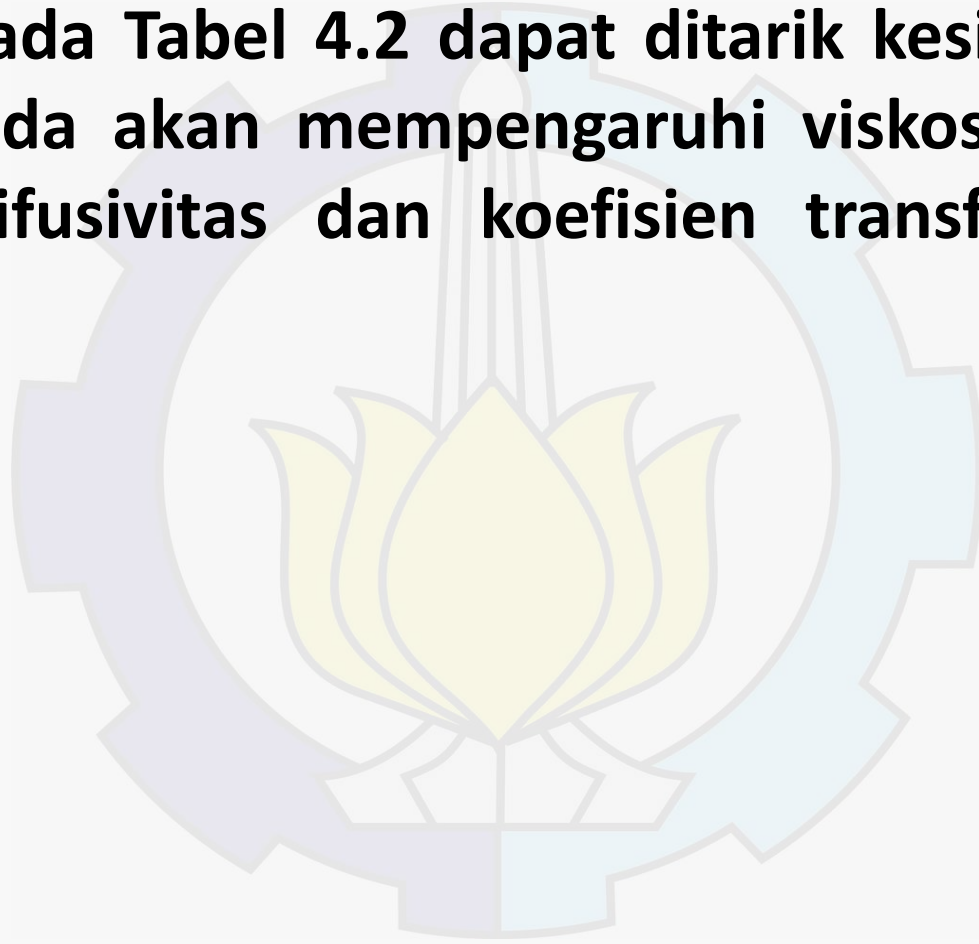
Tabel 4.3 (*sambungan*) Perbandingan Hasil Ekstraksi pada Mikroalga

8	363	14.01	15.5	9.399297
4	363	12.42	13.4	7.0866
9.5	348	17.49	18.5	5.266452
2.5	348	13.14	13.36	3.586779
8	333	16.27	16.4	0.646676
8	333	16.56	16.4	1.124219
AARD				4.524919

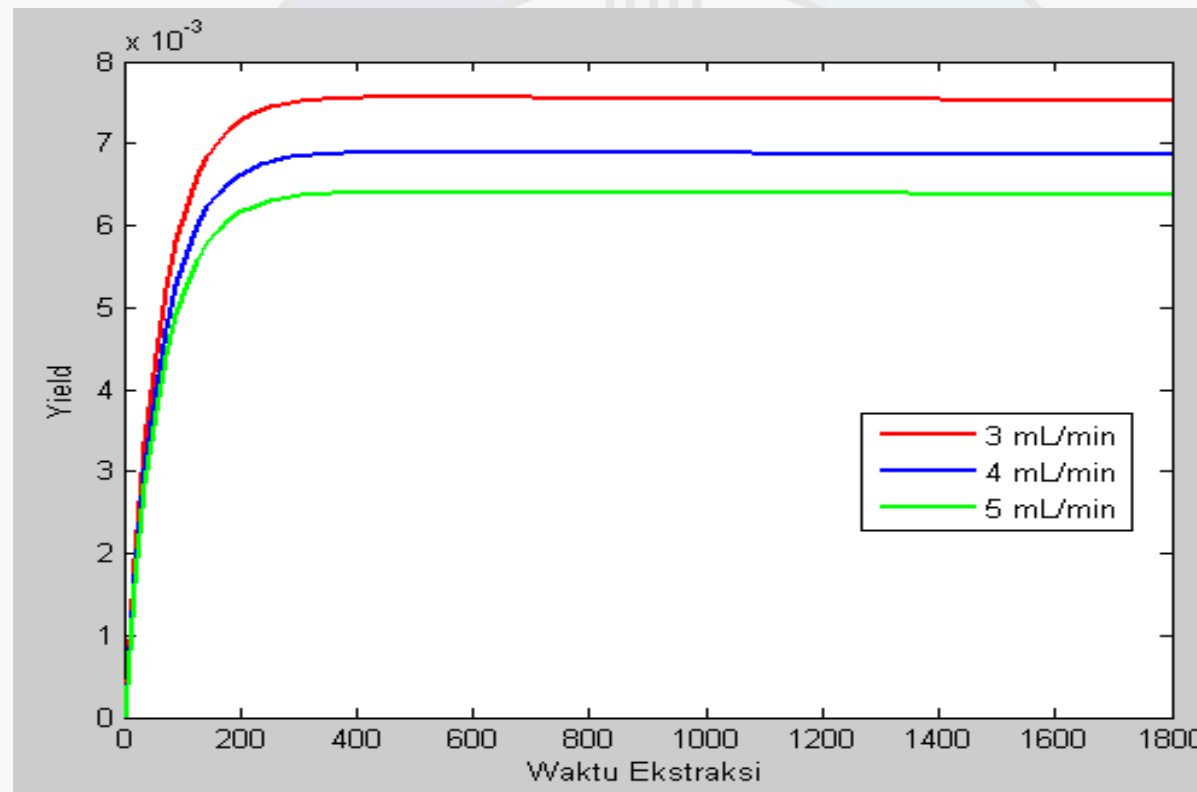


PERBANDINGAN HASIL YIELD

Dari nilai viskositas pada Tabel 4.2 dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan dan suhu yang berbeda akan mempengaruhi viskositas pelarut, yang akan berpengaruh pada difusivitas dan koefisien transfer massa pada proses ekstraksi.

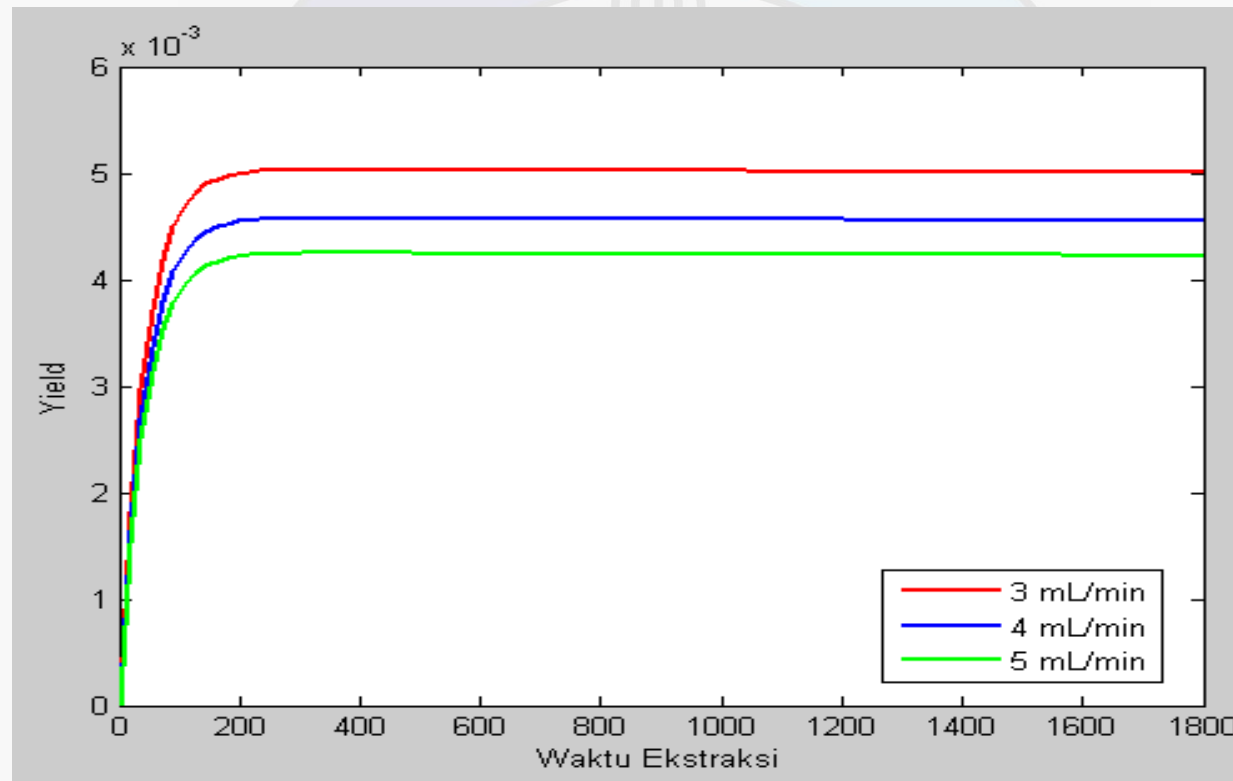


Proses ekstraksi dengan parameter ekstraksi kecepatan aliran CO_2 sebesar 3 mL/min, tekanan 6 MPa, dan suhu 348 K.



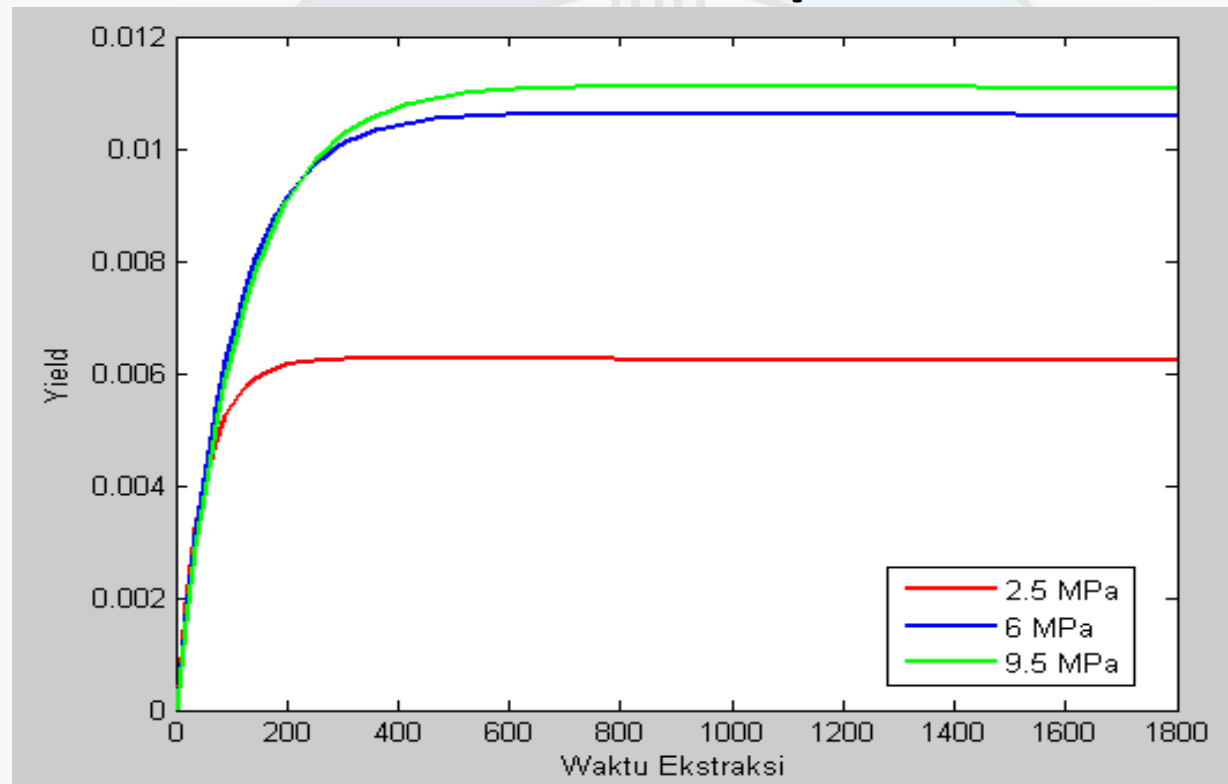
Gambar 4.4 Ekstraksi Mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan Suhu 348 K, Tekanan 6 MPa,

Proses ekstraksi dengan parameter ekstraksi kecepatan aliran CO_2 sebesar 3 mL/min, tekanan 4 MPa, dan suhu 333 K.



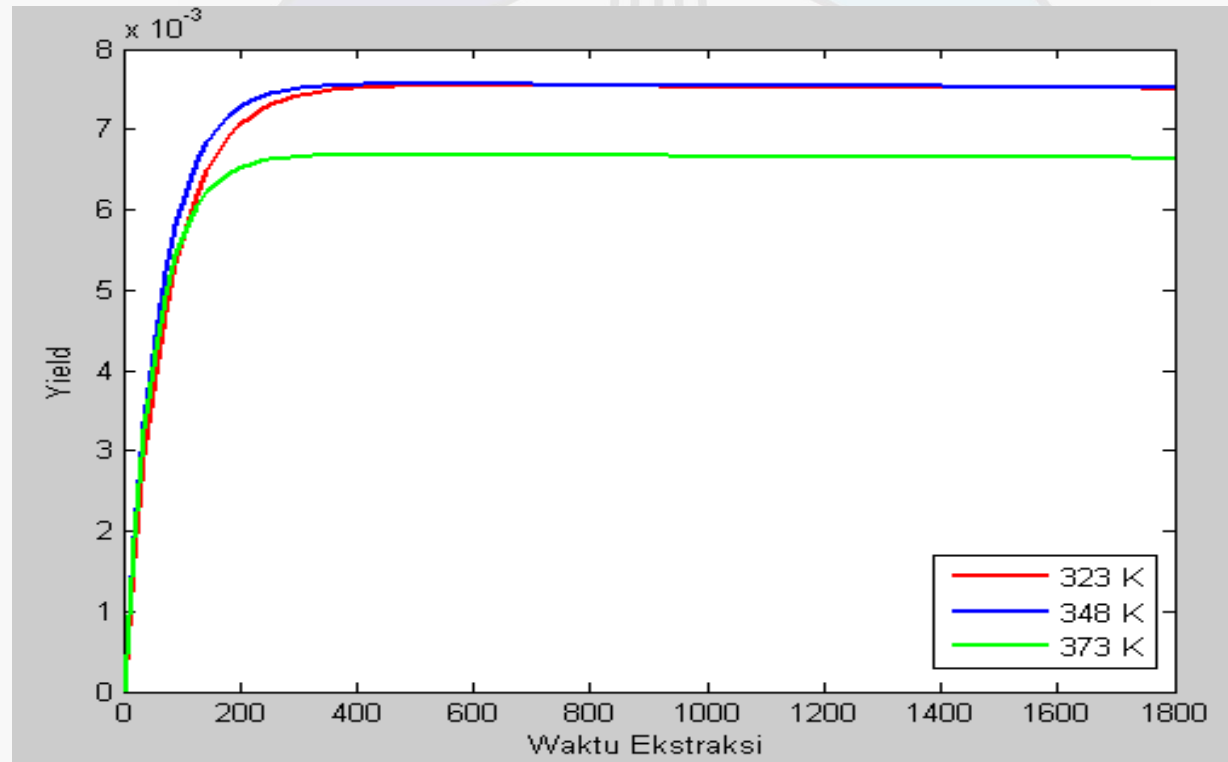
Gambar 4.5 Ekstraksi Mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan Suhu 333 K, Tekanan 4 MPa

Proses ekstraksi dengan pemberian suhu yang sama yaitu 348 K, dan tekanan masing-masing 2.5 MPa, 6 MPa, dan 9.5 Mpa.



Gambar 4.6 Efek Perbedaan Tekanan pada Yield Hasil Ekstraksi Mikroalga

Proses ekstraksi dengan pemberian tekanan yang sama yaitu 6 MPa, dan suhu masing-masing 323 K, 348 K, dan 373 K.



Gambar 4.7 Efek Perbedaan Suhu pada Yield Hasil Ekstraksi Mikroalga

Model Matematika proses ekstraksi lipid berbentuk:

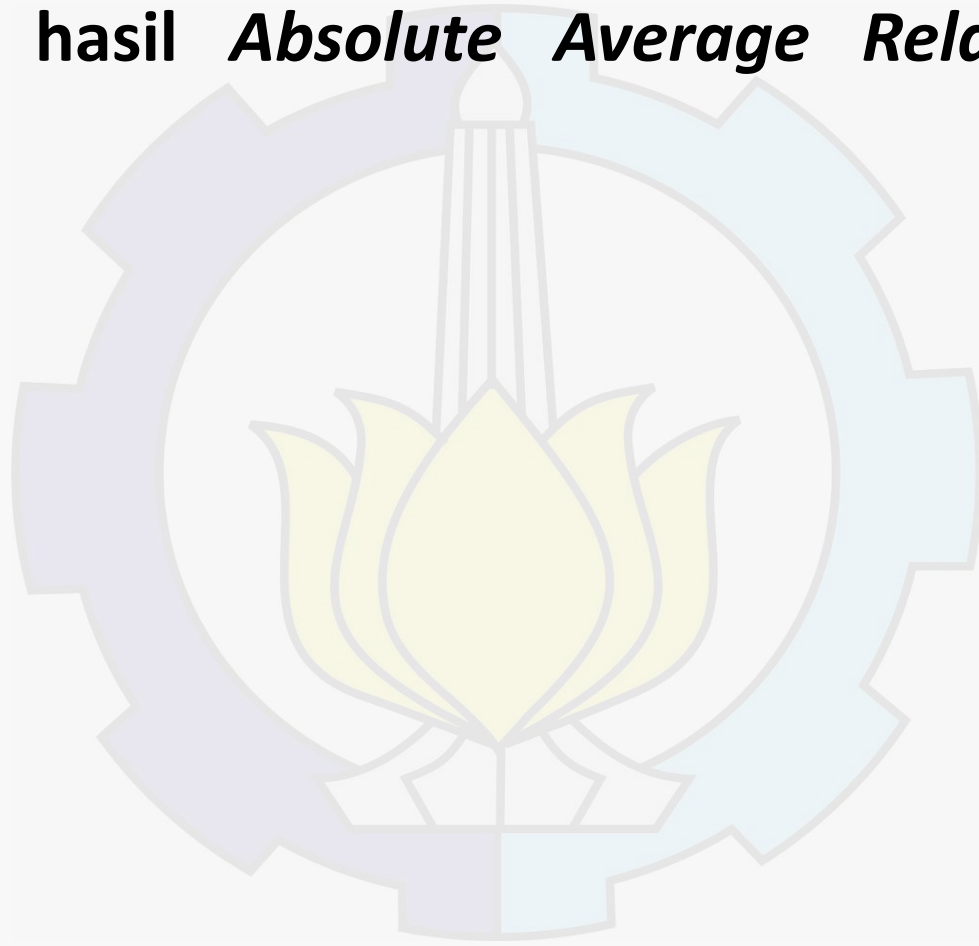
$$\begin{aligned}\frac{dC_s}{dt} &= -\frac{(1 - \varepsilon_p)}{\varepsilon} \frac{dC_p}{dt} - \frac{S}{\rho \varepsilon V} C_s \\ \frac{dC_p}{dt} &= -\frac{k_f a (C_p - C_{sat}^*)}{V(1 - \varepsilon_p)} - \frac{dC_l}{dt} \\ \frac{dC_l}{dt} &= k_a C_p - k_d C_l\end{aligned}$$

dimana C_s menyatakan konsentrasi lipid pada aliran besar pelarut, C_p menyatakan konsentrasi lipid pada partikel mikroalga, dan C_l menyatakan konsentrasi lipid pada saat terjadinya adsorpsi.



PENUTUP (Kesimpulan)

Model menunjukkan hasil *Absolute Average Relative Deviation* (AARD) sebesar 4.524919%.



Hasil yield yang diperoleh pada saat ekstraksi dipengaruhi oleh suhu dan tekanan. Perbedaan pemberian besar tekanan dan suhu akan berpengaruh pada massa jenis dan viskositas pelarut yang akan berdampak pada perbedaan nilai difusivitas pelarut terhadap mikroalga. Nilai keseimbangan yang tercapai antar lipid-CO₂ pada masing-masing kondisi suhu dan tekanan yang diberikan akan sangat mempengaruhi ketepatan hasil ekstraksi. Besarnya laju aliran massa CO₂ yang diberikan akan berpengaruh pada hasil yield lipid. Perpaduan kondisi yang tepat (suhu, tekanan dan laju aliran massa) akan memberikan hasil yield lipid maksimal yang dapat diperoleh dari proses ekstraksi.



PENUTUP (Saran)

Pada Tugas Akhir ini hanya membahas proses perpindahan massa lipid dengan nilai keseimbangan yang tetap pada setiap kondisi yang digunakan pada proses ekstraksi. Oleh karena itu, penulis menyarankan agar penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisi model dengan menyertakan perbedaan kesetimbangan pada setiap kondisi serta melakukan kendali terhadap nilai keseimbangan/saturasi.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugiyono, Agus. Anindhita, M. Sidik Boedoyo, dan Adiarso. 2014. **Outlook Energi Indonesia 2014**. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi.
- [2] Yang, Yi-Hung., Worasaung Klinthong, dan Chung-Sung Tan. 2015. "Optimization of Continuous Lipid Extraction from *Chlorella vulgaris* by CO₂-Expanded Methanol for Biodiesel Production". **Bioresource Technology**. 198:550-556.
- [3] Benitez, Jaime. 2009. "**Principles and Modern Applications of Mass Transfer Operations**". John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Ross, S.L. 1984. "**Differential Equation 3th edition**". John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Subiono. 2013. "**Sistem Linear dan Kontrol Optimal**". Jurusan Matematika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Kumoro, A.C., dan Masitah Hasan. 2006. Jurnal Teknologi "Modelling of Andrographolide Extraction from Andrographis paniculataleaves in A Soxhlet Extraction". **Proceedings of the 1st International Conference on Natural Resources Engineering & Technology**. 1:664-670.
- [7] Halim, Ronald. Michael K. Danquah, dan Paul A. Webley. 2012. "Extraction of Oil from Microalgae for Biodiesel Production: A Review". **Biotechnology Advances**. 30:709-732.